

Sasu Leppisaari

Manuaalivaihteiston automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

15.11.2013

Tekijä(t) Otsikko	Sasu Leppisaari Manuaalivaihteiston automatisointi
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liite 15.11.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	koneautomaatio
Ohjaaja(t)	TkT Jari Savolainen DI Harri Santamala
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun kaupunkiautoprojektiin. Kaupunkiautoprojektissa rakennetaan kokonaan uusi auto käyttäen vain joitakin osia Volkswagen Polo -mallisesta autosta.</p> <p>Auton oma vaihteisto oli manuaalinen, ja se piti muuttaa automaattiseksi Tämän työn pää-tavoite oli suunnitella ja toteuttaa auton vaihteiston automatisointi. Työ sisälsi sekä mekaanisen että ohjelmoinnin kokonaisuuksien suunnittelun ja toteuttamisen. Työssä keski-tyttiin erityisesti mekaaniseen kokonaisuuteen.</p> <p>Työssä vertaillaan eri vaihtoehtoja automatisoinnin toteuttamiseksi sekä tarkastellaan, mi-kä automaattivaihteistoista on toimivin. Kytkimen muuttamista automaattiseksi tutkittiin myös alustavalla tasolla. Sen osalta tehtiin alustavia suunnitelmia ja kartoitettiin eri vaihto-ehtoja.</p> <p>Työn tavoite saavutettiin ja kaupunkiauton automaattivaihteistojärjestelmästä saatiin toteu-tettua ensimmäinen versio.</p>	
Avainsanat	vaihteisto, automatisointi, kaupunkiauto, manuaalivaihteisto, vaihdelaatikko, paineilmajärjestelmä

Author(s) Title	Sasu Leppisaari Automation of A Manual Gearbox
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendix 15 November 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical engineering
Specialisation option	Machine automation
Instructor(s)	Jari Savolainen, Lecturer Harri Santamala, Project Engineer
<p>This Bachelor's thesis was made for the City Concept Car Project of Metropolia University of Applied Sciences. The project's goal was to build an almost new car from Volkswagen Polo. Only a few parts were utilized of Volkswagen Polo. In addition, the objective was the automation of the car's manual gearbox.</p> <p>The car's transmission was manual and the goal was to change it into an automatic system. The main objective for the thesis was to design and implement the transmission's change from a manual into an automatic system. The thesis included both mechanical and software parts. The thesis focuses especially on the mechanical part.</p> <p>This thesis includes a couple of best solutions to implement the automation of the transmission and compares also different automatic transmissions that are already on the market. The thesis also includes initial work on clutch design giving preliminary solutions for changing the clutch into an automatic version.</p> <p>To sum up, the goal of the thesis was achieved. As a result, the first version of transmission's automation was made.</p>	
Keywords	automation intermission city car concept manual transmission gearbox air pressure system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kilpailijat markkinoilla ja automaatin historia	2
2.1	Suorakytkentävaihteisto (kaksoiskytkinvaihteisto)	2
2.2	CVT	2
2.3	Perinteinen automaattivaihteisto	3
3	Volkswagen Polo -manuaalivaihteisto	4
3.1	Alkuperäinen vaihteisto	4
3.2	Kytkin	5
4	Automatisointijärjestelmän valinta	6
5	Vaihteistojärjestelmän valinta ja suunnittelu	7
5.1	Vaihtoehto A: Paineilmajärjestelmä	7
5.1.1	Paineilmasyylinteri	7
5.1.2	Vaijerivaihtoehto	10
5.1.3	Asennus vaihteiston päälle	12
5.2	Vaihtoehto B: Sähkömoottorijärjestelmä	15
5.3	Valinta	15
6	Kytkimen valinta ja suunnittelu	17
6.1	Paineilmasyylinteri	17
6.2	Kytkin testituloksia	18
7	Ohjausjärjestelmä	22
7.1	EPEC	22
8	Anturointi	23
8.1	Vaihtoehto A: Anturit paineilmasyylintereissä	23
8.2	Vaihtoehto B: Hall-anturi vaihtajassa	24

9	Ohjelmointi ja ohjelmiston suunnittelu	25
9.1	CODESYS	25
9.2	IEC 61131-3	25
9.3	EPEC MultiTool	26
9.4	Vaihdelaatikon koodi	27
9.5	Kytkimen koodi	28
10	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Vaihdelaatikon function block-ohjelma	

Lyhenteet

CODESYS COntrol DEvelopment SYStem

DSG Direct-shift gearbox eli kaksoiskytkentävaihteisto

PWM Pulssileveysmodulaatio

TDi Turbodieselsyöttöinen-moottorimalli

SMT resistiivinen magneettianturi

1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin Metropolia ammattikorkeakoulun auto-osaston kaupunkiauto-projektiin. Työssä piti muuttaa ja suunnitella kaupunkiauton vaihteiston automatisointi. Alkuperäinen vaihteisto oli Volkswagen Polo 1.2 TDi:n mallin 5-vaihteinen manuaalivaihteisto. Auton vuosimalli on 2009.

Koko kaupunkiauto-projektin tavoite on suunnitella ja rakentaa kaupunkiauto käyttäen uusia menetelmiä sekä testata erilaisia vaihtoehtoja. Pää tavoitteena oli käyttää uusia materiaaleja auton rungossa. Tämän insinöörityön tarkoitus oli suunnitella ja muuttaa alkuperäinen manuaalivaihteisto automaattivaihteistoksi. Työn päätavoite rajattiin vaihtajaan ja vaihdelaatikkoon, kun aikaa jäi, aloitettiin kytkimen suunnittelu.

Työ aloitettiin tutkimalla alkuperäistä vaihteistoa. Mekaaninen järjestelmän suunnittelu priorisoitiin ohjelmapuolen edelle, koska ilman mekaanista järjestelmää ohjelma olisi hyödytön. Mekaaniseen suunnitteluun siis keskityttiin enemmän. Työssä käytiin läpi jo markkinoilla olevia automaattivaihteistoa ja tutkittiin, voitaisiinko niistä saada vinkkejä tai ratkaisuja tähän järjestelmään.

Työssä piti suunnitella mekaaninen toteutus ja tehdä ohjelma, jolla mekaaninen järjestelmä toimii automaattisesti. Työn mekaaninen puoli rajattiin automatisointiin ja komponenttien hankintaan. Vaihteistokehysrunгон suunnittelussa oli mukana Metropolia ammattikorkeakoulun autotekniikkaosaston 2. vuoden opiskelija Janne Laine. Ohjelmoinnin osalta tehtiin päätös keskittyä vaihteiston perustoimintojen ohjaamiseen.

2 Kilpailijat markkinoilla ja automaatin historia

Automaattivaihteistot ovat vasta muutaman vuoden sisällä yleistyneet Euroopassa, kun aikaisemmin ne olivat ennemmin poikkeus kuin sääntö. Yhdysvalloissa automaattivaihteet ovat olleet yleisiä jo 1960-luvulta lähtien. Vuonna 2011 Yhdysvalloissa ostetuista autoista manuaalivaihteellisia oli vain 4 %, kun taas Euroopassa sama luku on 80 %. Ensimmäinen automaattivaihteisto esiteltiin Oldsmobilessa 1941. Sen vaihteisto oli momenttimuuntimen ja planeettavaihteiston yhdistelmä. Euroopassa lyhyemmät välimatkat, pienemmät autot ja polttoaineen hinta on hidastanut automaattivaihteistojen yleistymistä. Nykypäivän automaattivaihteistot ovat keventyneet, polttoainetaloudellisuus on parantunut ja hintaero manuaalivaihteistoon uusissa autoissa on laskenut melkein olemattomiin. Automaattivaihteistot ovat alkaneet yleistyä näistä syistä. (1; 2.)

2.1 Suorakytkentävaihteisto (kaksoiskytkinvaihteisto)

Suorakytkentävaihteisto on yleistynyt monen suuren autonvalmistajan valikoimassa. Vaihteistossa on kaksi kytkintä, joista toinen on parittomille ja toinen parillisille vaihteille. Tämä tekee liikkeestä katkottoman: kun toinen kytkin suljetetaan, toinen avataan samanaikaisesti. Seuraava vaihde on aina valmiina kytkettäväksi. Tässä kaksoiskytkinvaihtoehdossa hyvinä puolina ovat pieni polttoainekulutus ja sujuvan vaihtamisen mukavuus. Huonoina puolina ovat hinta ja paino. Tunnetuin kaksoiskytkinvaihteisto on Volkswagenin DSG-vaihteisto. (3)

2.2 CVT

Continuosly Variable Transmission eli portaaton automaattivaihteisto perustuu variaattorivetoon. Siinä käytetään hihnaa ja kahta hihnapyörää joiden halkaisijoita muutetaan vaihdetta vaihtaessa. Voima välitetään hihnan kautta. CVT:ssä vaihtaminen tapahtuu tasaisesti, koska välityssuhdetta voidaan vaihtaa portaattomasti. Aikaisemmin hihna oli kumia, mutta nykyään käytetään metallihihnaa tai ketjua pitkäikäisyyden lisäämiseksi. Hyvänä puolena CVT:ssä on polttoainetaloudellisuus, mutta huonona puolena kuluvat osat. (3)

2.3 Perinteinen automaattivaihteisto

Perinteisessä automaattivaihteistossa käytetään momentinmuunninta kytkimen tilalla. Siinä momentinmuuntimen voima pumppupyörällä välitetään nesteen avulla turbiinipyörälle, mistä voima siirretään hammaspyörävaihteistolla.

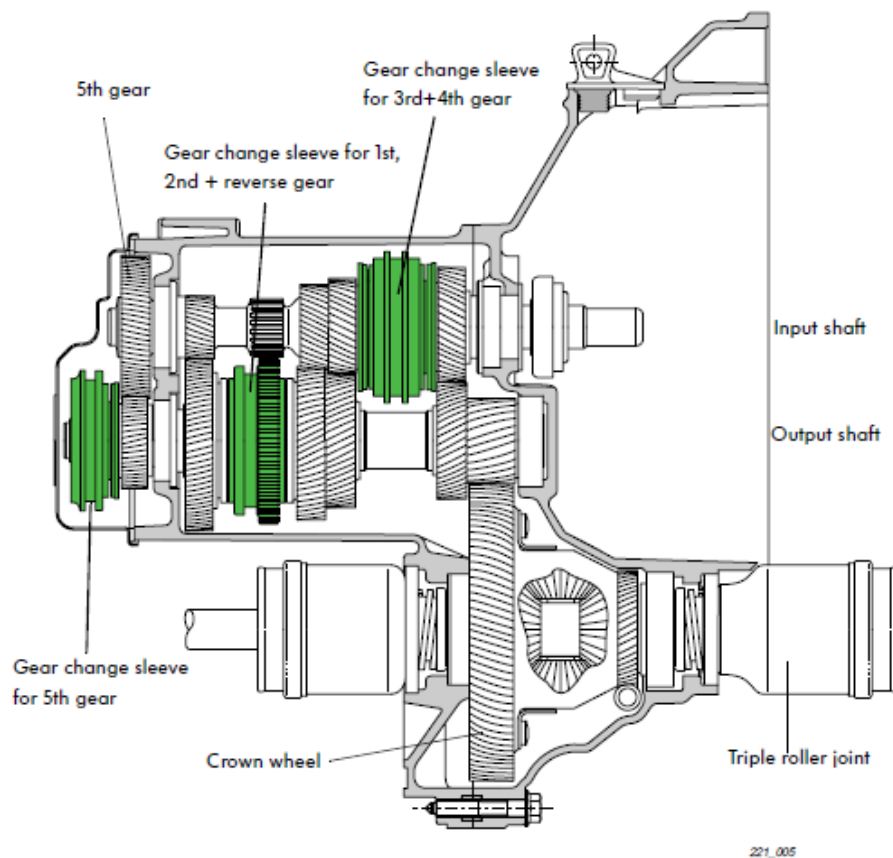
Momentinmuuntaja tekee vaihtamisista pehmeitä ja parantaa ajomukavuutta, mutta samalla se hävittää energiaa. Uudemmissa momentinmuuntajissa onkin yleensä lukitus, jolla se lukittuu kiinteäksi ajonopeuden noustessa, jolloin tehohäviöiden synty vähenee.

Vaihteiden lukumäärän kasvu ja elektroninen ohjaus on parantanut momentinmuuntimella varustettujen perinteisten automaattivaihteistojen energiatehokkuutta paljon. Useamman vaihteen ansiosta moottori käy suurimman osan ajasta optimaalisilla kieroksilla ja vaihteisto hukkaa entistä vähemmän energiaa. Suurissa ja tehokkaissa autoissa polttoaineenkulutus onkin usein pienempi automaattivaihteistolla varustetuissa malleissa manuaalivaihteistoon verrattuna. (3)

3 Volkswagen Polo -manuaalivaihteisto

3.1 Alkuperäinen vaihteisto

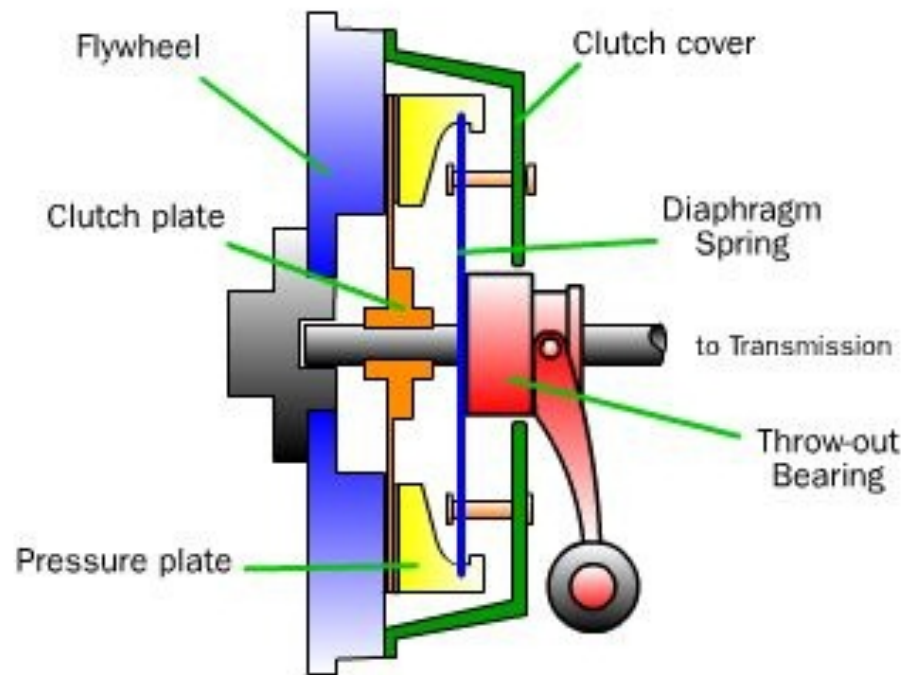
Kaupunkiautoprojektissa käytetty alkuperäinen auto oli Volkswagen Polo vuodelta 2009. Polossa moottorina oli 1.2 TDi ja vaihteistona 5-vaihteinen elektronisesti avustettu manuaalivaihteisto. Tässä opinnäytetyössä ei tutustuta manuaalivaihteiston toimintaan syvemmin. Manuaalivaihteistoa ohjataan vaihdekepillä ja kytkinpolkimella. Vaihdekepillä lähtee kaksi vaijeria vaihteistoon, jotka ohjaavat vaihtajaa. Vaihtaja liikuttaa kolmea eri ratasta, joilla saadaan vaihdettu eri vaihde. Alla olevassa kuvassa näkyy rattaat värjättyinä vihreiksi. (4, s. 6–7)



Kuva 1. Volkswagen Polon manuaalisen vaihteiston vaihdelaatikko (4, s.6).

3.2 Kytkin

Kytkinpoljin irrottaa kahden sylinterin (pää- ja työsylinteri) avulla kytkinpaketin vauhtipyörästä. Kun pakka on irti vauhtipyörästä, voidaan vaihtaa vaihdetta ilman vastapainetta. Kiinni ollessa se siirtää moottorin tuottaman voiman kampiakselilta vaihdelaatikkoon ja sieltä eteenpäin renkaalle. Kytkinpakka koostuu kytkinlevystä paineasetelmasta, painelaakerista ja haarukasta, joka liikuttaa laakeria. (Kuva 2.)



©2000 How Stuff Works

Kuva 2. Kytkimen osat.

4 Automatisointijärjestelmän valinta

Työn alussa piti selvittää ja päättää, miten vaihteisto automatisoitaisiin parhaalla tavalla. Piti tutkia markkinoilla olevat vaihtoehdot, ottaa huomioon projektin resurssit ja budjetti. Paino oli yksi tärkeimmistä ominaisuuksista vaihteistojärjestelmän valintaa selvittäessä. Vaihteistojärjestelmän painolla on väliä, koska kaupunkiauto on suunniteltu mahdollisimman kevyeksi eikä vaihteisto saisi tuoda turhia lisäkiloja auton painoon. Markkinoiden yleisen Volkswagenin kehittämä DSG-automaattivaihteisto painaa 93 kg. (5)

Robottivaihteisto täytti parhaiten edellä määritetyt ominaisuudet. Sen hinta ja paino sopivat projektiin. Sähkömoottorit tai paineilmasylinteri, joita käytetään tässä robottivaihteistossa painavat vain muutaman kilon ja ovat tarvittavan halpoja. Molempien järjestelmien nopeus oli myös tarvittavan korkea. Autosta löytyi valmiiksi paineilmakompressori, jonka kapasiteettia voisi käyttää paineilmasylintereihin. Metropolia Ammattikorkeakoululta löytyi myös apua sähkömoottorien ja paineilmasylinterin käytössä. Tarvikkeita ja työkaluja protomallien tekoon oli saatavissa oppilaitoksesta.

5 Vaihteistojärjestelmän valinta ja suunnittelu

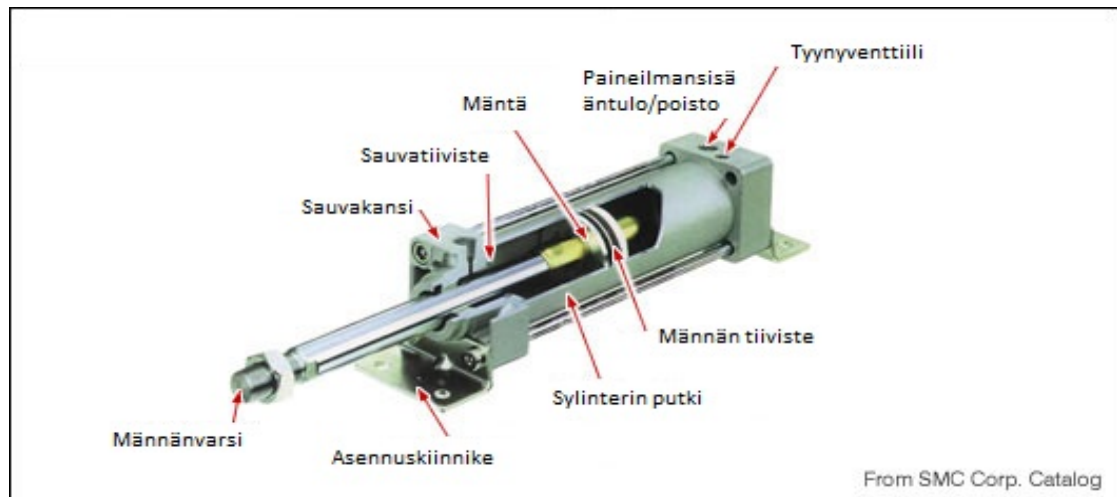
5.1 Vaihtoehto A: Paineilmajärjestelmä

Vaihteistoa ei ole aikaisemmin automatisoitu paineilmasyylintereillä tai ainakaan historian kirjat eivät kerro toisinkaan. Autoissa ei ole yleisesti ollut käytössä paineilmaa, koska sitä ei ole tarvittu toimilaitteisiin – ellei autossa ole ollut jousia, joita säädellään paineilmalla. Kaupunkiautoprojektin autoon päätettiin asentaa ilmajouset, jotka tarvitsevat paineilmaa. Tämä antoi mahdollisuuden suunnitella ja rakentaa vaihtaminen paineilmasyylintereillä. Ei ollut kuitenkaan tarvetta miettiä tai suunnitella paineilmakompressorille paikkaa autossa, koska kompressorin veisi tilaa autosta joka tapauksessa. Tämä antoi edun paineilmasyylinterijärjestelmän vaihtoehdolle.

Paineilmasyylinterien paras ominaisuus on niiden keveys. Kaupunkiautosta haluttiin tehdä mahdollisimman kevyt. Esimerkiksi kymmenien kilojen momenttimuunnin automaattivaihteisto ei sopinut vaihteistomuunnoksen vaatimuksiin. Yksi paineilmasyylinteri painaa vain muutaman kilon. Alkuperäinen vaihteisto painoi 35 kg, joten kaksi paineilmasyylinteriä ja venttiiliterminaali vaikuttaisi prosentuaalisesti vaihteiston painoon minimaalisesti.

5.1.1 Paineilmasyylinteri

Paineilmasyylinteri toimii hyvin yksinkertaisesti. Aluksi tulee rakentaa suljettu kotelo, joka on sisältä ontto ja putken muotoinen. Putkessa liikkuu mäntä, joka jakaa tilan kahdella. Tilan jakosuhde riippuu, kummalta puolelta päästetään ilmaa sisään. Männässä ja männänvarressa on oltavat hyvät tiivisteet ettei ilma pääse ulos sylinterin sisältä. Männänvarsi on kiinni männässä ja se liikkuu samaa tahtia kuin mäntä. Molemmissa päissä koteloa on reiät paineilman sisään-tuloon ja poistoon. Paineilman sisään-tulo ja poisto tapahtuvat samasta reiästä. Reiästä on kierteet, johon kiinnitetään liittin. Liittimiä on erikoisia erikokoisille paineilmaletkuille. Tässä työssä käytettiin 4 millimetrin paineilmaletkuja. Kuvassa 3 on tehty havainnollistava leikkauskuva paineilmasyylinteristä.



Kuva 3. Kaksitoiminen sylinteri. (6)

Auton alkuperäinen manuaalivaihteiston toteutus mahdollisti paineilmasylinterien käytön. Alkuperäistä vaihteistoa ohjattiin vaihdekepillä. Kepissä oli kiinnitetty kaksi vaijeria. Vaijerien toiset päät oli kiinnitetty vaihdelaatikossa olevaan vaihtajaulokkeeseen kiristyskiinnikkeellä. Toinen vaijeri ohjasi ulokkeen vaakaliikettä ja toinen pystyliikettä. Pystyliikkeessä on neljä eri asemaa ja vaakaliikkeessä kolme. Vaijerien sekä vaihtajaulokkeen kiinnitystavat mahdollistivat kiinnityksen kumpaan tahansa. Kuvassa 4 nähdään kiinnityspaikat paineilmasylinterien männille.



Kuva 4. Vaihtajan kiinnityspaikat sekä harmaa teräksinen vaihtajauloke.

Pystyliikeasemat:

1. Alin asema Peruutus
2. Liike ylöspäin vaihteet 1 ja 2
3. Liike ylöspäin vaihteet 3 ja 4
4. Liike ylöspäin vaihde 5

Peruutus- ja 1-vaihteen välimatka on 9 mm, 1- ja 3-vaihteen 11 mm. 3- ja 5-vaihteen välimatka 10 mm. Kokonaismatkaksi on siis 30 mm neljällä asemalla.

Vaakaliikevaihde

1. Parittomat sekä peruutusvaihde (R, 1, 3, 5)
2. Vapaavaihde
3. Parilliset (2, 4)

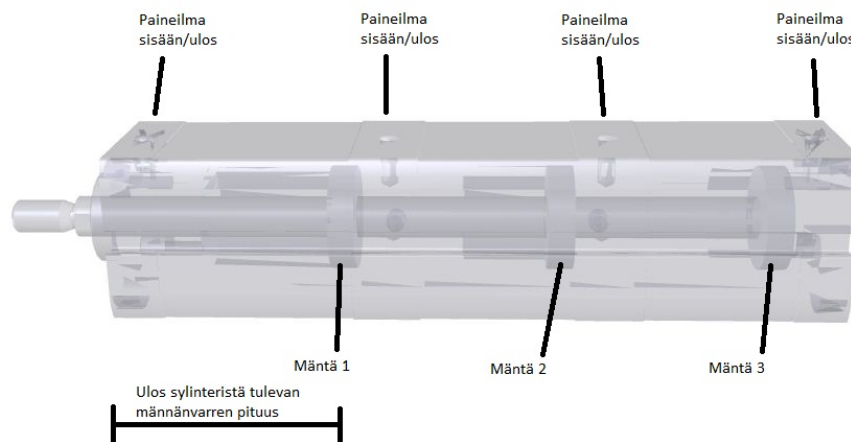
Laitehankinnat:

Robottivaihteiston rakentamiseen piti hankkia yksi 4-asentoinen ja yksi 3-asentoinen sylinteri sekä paineilmaventtiili ohjaamaan niiden liikkeitä. Yhteydenotot tehtiin SMC Finlandin sekä Festo didactin kanssa. Kyseiset valmistajat ovat tunnettuja ja luotettavia sekä niiden laitteitaan käytetään Metropolia Ammattikorkeakoulussa. Molemmilta löytyi samankaltaisia tuotteita, mutta Feston korkealaatuinen asiakaspalvelu sekä monipuolisemmat lisäosat vei voiton SMC:stä. Festolta tilattiin seuraavat toimilaitteet:

- 4-asentoinen sylinteri ADN-25-A-P-A-9Z1-20Z2-30-Z3
- 3-asentoinen sylinteri ADN-25-A-P-A-25Z1-50Z2
- 8-paikkainen venttiiliterminaali VTUG-10-SL3-S1T-Q6R-U-Q4S-4VK

- 7 x liikeanturia jokaiseen asentoon SMT-8M-A-PS-24V-E-2,5-OE.

Pystyliikkeen tekee 4-asentoinen sylinteri ja vakaaliikkeen 3-asentoinen. Moniasentoiset paineilmasylinterit eroavat kaksitoimisesta paineilmasylinteristä. Normaalissa kaksitoimisessa paineilmasylinterissä on yksi mäntä, kun moniasentoisessa on yhtä monta kuin on liikkeitä. Esimerkiksi 4-asentoisessa paineilmasylinterissä on kolme liikettä, jolloin sylinterin sisällä on kolme mäntää. Normaalin kaksitoimisen paineilmasylinterin pituus on iskunpituus + tiivisteet + pehmusteet ja kotelo. Kuva 5 havainnollistaa hyvin, miksi moniasentoinen paineilmasylinteri on pidempi kuin vaikka kaksi kaksitoimista paineilmasylinteriä kiinnitettynä toisiinsa. Ensimmäisissä prototyypirakennelmissa käytettiin kahta kaksitoimista paineilmasylinterin kiinnitettynä toisiinsa. Se vaihtoehto vie tilaa vähemmän kuin moniasentoiset, mutta kiinnitys ja männänvarsille jatkuva rasitus vähentävät käyttöikä. Toisen paineilmasylinterin männänvarren pää pitäisi kiinnittää kiinteästi ja silloin paineilmasylinterin yhteispaino ja liikkeen rasitus kohdistuisi yksinään kiinnitykseen.



Kuva 5. Läpinäkyvä 3D-kuva 4-asentoisesta painesylinteristä.

Venttiileinä käytettiin Feston venttiiliterminaalia, jossa on kahdeksan 3-asentoista venttiiliä.

5.1.2 Vaijerivaihtoehto

Yksinkertaisin tapa vaihtaa vaihdetta olisi käyttää valmiina olevia vaijereita. Paineilmasyylinterit sijoitettaisiin vaihdekepin tilalle. Kahdesta sylinteristä toinen simuloisi kepin

pystyliikettä ja toinen vaakaliikettä. Kuva 6 näyttää, miten vaijerien vaihdekeppipään kiinnitys on toteutettu ja kuva 7 vaihdelaatikkopää kiinnityksen. Sylinterit kiinnitettäisiin käyttämällä vaihdekepin osia sekä asentamalla Uniball-kiinnike sylinteriin. Uniball-kiinnikkeellä saadaan vaijerin ja sylinterin männän kiinnitys tiukaksi. Uniball-kiinnikkeessä on pallomainen kestävä osa, jolloin vaijerin ja männän ei tarvitse olla täysin kohtisuorassa toisiinsa nähden. Pallomainen osa vähentää rasitusta vaakasuuntaan.



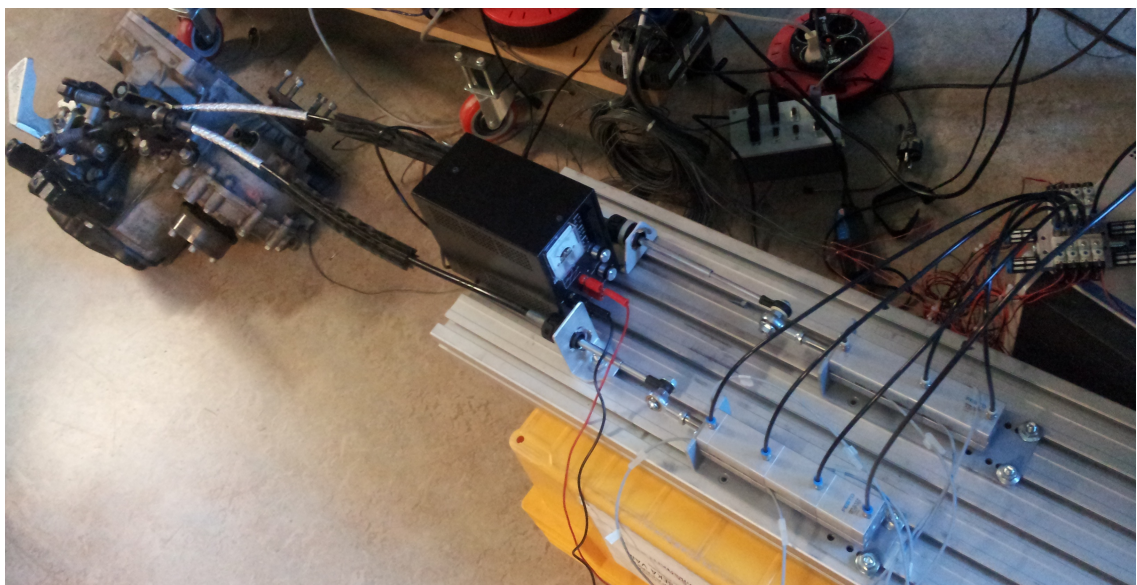
Kuva 6. Vaijerien vaihdekeppipään kiinnikkeet ja vaihdekeppi.



Kuva 7. Vaijerit kiinnitettynä alkuperäisellä tavalla vaihtajaan.

Vaijerivaihtoehdon parhaana puolena on, ettei tarvitse suunnitella uutta kiinnitystä vaihtajaan. Valmis vaihtajakiinnitys on hyväksi todettu. Alkuperäinen kiinnitys liikuttaa vaihtajaa oikealla tavalla. Antureiden ja sylinterien käyttöikä paranisi, jos sylinterit saataisiin kuivaan ja viileään paikkaan.

Vaijerivaihtoehdon huonoin puoli on tilanvienti. Kuten kuvassa 8 havainnollistetaan tilantarve. Sylinterien ollessa vaihteiston päällä kiinnitettynä, se vie letkujen ja sylinterin verran tilaa muualla autossa. Sylinterien sijoituksessa muualle autoon helpottaa, että sylinterit voivat olla ihan missä päin autoa. Vaijereita voi tarvittaessa lyhentää tai pidentää, ja sylinterien asennolla ei ole vaikutusta niiden toimintaan.

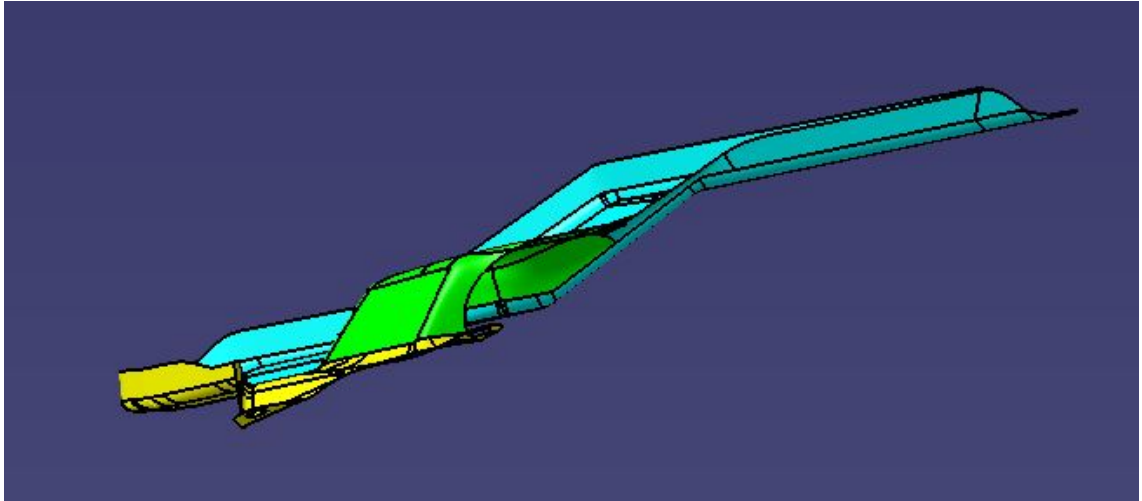


Kuva 8. Vaijerit koko pituudeltaan ja paineilmasylinteri prototyypikiinnityksellä.

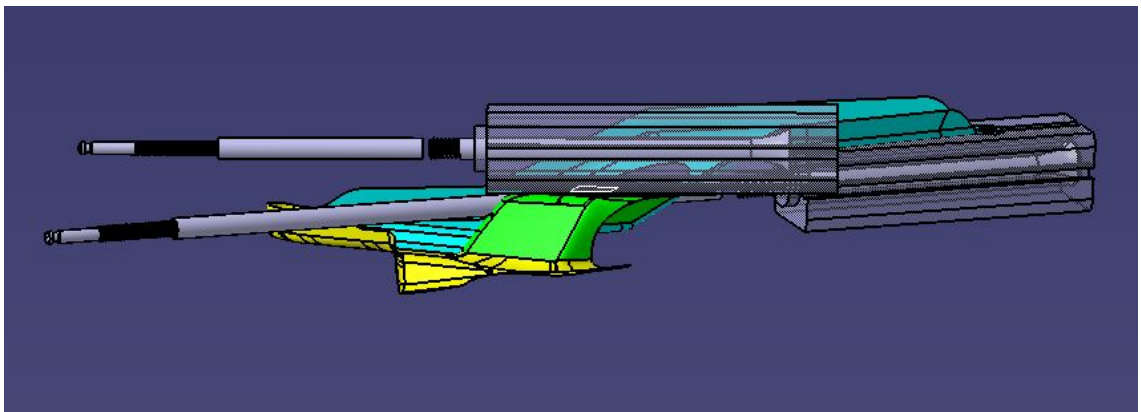
5.1.3 Asennus vaihteiston päälle

Toinen vaihtoehto sylinterien sijoitukseen on asentaa ne suoraan vaihteiston päälle. Tätä vaihtoehtoa suunniteltiin yhdessä Metropolia ammattikorkeakoulun autopuolen tuotetekniikan osaston Janne Laineen kanssa. Alusta suunniteltiin ja piirrettiin CATIA-ohjelmalla. CATIA on 3D-mallinnukseen erikoistunut ohjelma ja sitä käytetään maailmanlaajuisesti. CATIA on suosittu esimerkiksi lentokone- ja autosuunnittelussa.

Kuvissa 9 ja 10 on tehty 3D-kuvat valmiista kappaleesta, joka asennettaisiin vaihteiston päälle. Kuva 10 havainnollistaa miten paineilmasylinterit kiinnitettäisiin alustakappaleeseen.



Kuva 9. 3D-mallinnus valmiista kappaleesta.



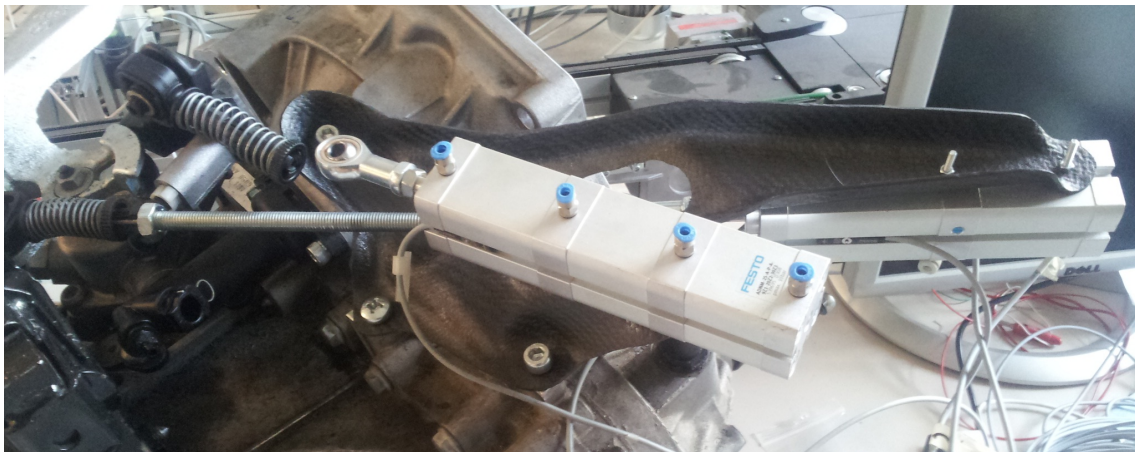
Kuva 10. Sylinterin sijoitus alustaan.

Tässä vaihtoehdossa kiinnityksessä päätettiin käyttää kiinnitysreikiä, joita alkuperäiset vaijerit olivat käyttäneet. Kiinnitysrei'istä kaksi oli samassa tasossa ja yksi eri kulmassa sekä tasossa. Reikien asemat olivat haasteelliset sylinterientukikehystä ajatellen. Kehyksen pitäisi olla todella jäykkä, etteivät sylinterien voimakkaat ja nopeat liikkeet vaikuttaisi kehyksen asemaan millään tavalla. 5 millimetrin väärä asento sylintereille vaikuttaisi vaihtamiseen liikaa sekä estäisi oikean vaihteen ”sisäänmenon”. Kehyksen piti olla myös kevyt, koska autoon ei haluttu mitään turhaa lisäpainoa. Vaihtoehdoiksi jäi alumiini tai hiilikuitu. Molemmat materiaalit ovat kevyitä ja kestäviä. Hiilikuitu valittiin materiaaliksi, koska Metropolian Tikkurilan-toimipisteessä oli tarvittava kone, jolla pystyi tekemään oikean muotoisen hiilikuitukehysrungon sylintereille. Hiilikuidun työstämistä haluttiin myös testata. Se soveltui loistavasti auton sisälle, koska omaa korkean lämpösulamispisteen.

Kuvista 11 ja 12 nähdään, minkälainen lopullisesta alustasta tuli ja miten moniulotteinen siitä piti tehdä. Oikeanlaiset muodot tuovat lisävoimaa alustan kestävyydelle. Alustan haasteellinen sijainti, vain kolme kiinnitysreikää ja vaihtajaulokkeen liike pakotti sijoittamaan toisen sylinterin yllättävän pitkän matkan päähän kiinnityksessä. Tällä pidentyksellä saatiin lisää liikkumatilaa männänvarren liikkeelle. Kuten kuvassa 12 näkyy, niin tässäkin kiinnityksessä päädyttiin käyttämään Uniball-kiinnitystä sylinterien männänvarren päähän samoista syistä kuin vaijerivaihtoehdossa.



Kuva 11. Valmis hiilikuitualusta paineilmasylintereille.



Kuva 12. Paineilmasylinterit hiilikuitualustassa.

5.2 Vaihtoehto B: Sähkömoottorijärjestelmä

Yhtenä vaihtoehtona vaihteiston automatisointiin mietittiin sähkömoottoria. Sähkömoottoreista ainoa vaihtoehtona oli lineaarimoottori, liikkeen ja tilan vuoksi. Lineaarimoottorissa liike on nimensä mukaisesti lineaarinen, joten se sopisi käytettäväksi liikeradan ja muotonsa puolesta.

Lineaarimoottori ei ole tavallinen sähkömoottori, koska pyörivää osaa ei ole. Roottori ja staattorikäämitykset on levitetty tasoon lineaarimoottoreissa. Lineaarimoottorissa ei ole pyörivää magneettikenttää vaan sitä kutsutaan ”liikkuvaksi” magneettikentäksi. Moottorin lineaarinen liike saadaan toimimaan ilman mekaanisia välityksiä. Lineaarimoottoreissa käytetään sähkö- tai kestopagneetteja riippuen käyttötarkoituksesta. Kestomagneeteilla saadaan hyvä hyötysuhde, mutta ne ovat kalliimpia kuin sähkömagneetit. Lineaarimoottorien yleistymisen esteenä on ollut niiden hinta, mutta viime vuosina hinta on laskenut. (7, s.1–3)

Auton manuaalivaihteiston vaihteiden vaihtaminen oli tapahtunut kahdella letkuvaijerilla. Lineaarisähkömoottorit olisivat joko syrjäyttäneet letkut kokonaan tai ne olisi asennettu vaihdekepin tilalle, jolloin ne olisivat simuloineet vaihdekepin liikkeitä. Projektipäällikköjen päätöksestä letkuvaijerien käytön mahdollisuus hävisi. Lineaarimoottorit olisi pitänyt asentaa vaihteistopakettin päälle ja kiinnittää suoraan vaihtajaan, koska muualla ei olisi ollut tilaa. Tämä olisi ollut vaikeampaa lineaarimoottorien kiinnitysmahdollisuuksien takia.

Kun selvisi, että järjestelmä piti sijoittaa vaihteiston päälle eli moottorin viereen, nousi heti kysymyksiä siitä, miten sähkömoottorien elektroniikka tulisi kestämään kovia lämpötiloja. Paineilmaventtiileissä ei ole oikeastaan minkäänlaista tekniikkaa kuin paineilmaa toisesta reiästä sisään ja toisesta ulos.

5.3 Valinta

Vaihtoehtojen joukosta valittiin lopulta paineilmajärjestelmä, koska autossa oli paineilmajärjestelmä sekä paineilmasylinterit matkivat paremmin alkuperäisiä liikkeitä kuin sähkömoottorit. Sähkömoottorissa ei ole samanlaista tuntumaa kuin paineilmasylinterissä. Ilmanpaine reagoi paremmin yllätyksellisiin tilanteisiin. Paineilmasyntlerin hinta-

voima-nopeussuhde on myös parempi kuin lineaarisähkömoottoreissa. Sähkömoottori-en tarkkuus oli ennen parempi kuin paineilmasylinterin, mutta nykypäivän moniasentoisten sylinterien asemat saadaan millimetrin tarkkuudella, mikä on riittävä tarkkuus työssä.

Järjestelmän sijoituksen paikka vaikutti asiaan, koska ei voitu olla varmoja miten lineaarimoottorit tulisivat reagoimaan muuttuviin sekä hyvin korkeisiin lämpötiloihin. Auton moottorin ja järjestelmän väliin voitaisiin rakentaa lämpölevy, mutta sekään ei laskisi lämpötilaa tarpeeksi.

6 Kytkimen valinta ja suunnittelu

Alkuperäisessä autossa vaihteiston kytkin oli toteutettu manuaalisesti kytkinpolkimella. Polkimen liike kontrolloi kytkimen pääsylinteriä, jonka paine ohjaa työsylinteriä. Työsylinterin paine painaa painelaakerin haarukkaa, joka säätelee onko kytkin kiinni vai auki.

Työssä mietittiin aluksi olisiko järkevintä käyttää kytkinpoljinta manuaalisesti, koska automaattikytkimestä saattaisi tulla todella epätarkka ja epävarma. Kytkimen suunnittelu aloitettiin työnloppuvaiheessa, koska vaihteistoa ei päästy testaamaan moottorin olleessa muualla.

6.1 Paineilmasyylinteri

Ensimmäiseksi kytkinpoljinta simuloitiin paineilmasyylinterillä. Sylinterin mäntä kiinnitettäisiin suoraan pääsylinteriin, joka oli ollut alkuperäisesti kiinni polkimesta. Aluksi paineilmasyylinteri piti laittaa kiinni polkimeen, jotta polkimen vipuvartta voitaisiin käyttää hyväkseen liikkeessä. Vipuvarti oli 4:1, jolloin paineilmasyylinterin voima täytyisi olla vain neljäsosa siitä, minkä pääsylinteri vaatii kohtisuorassa liikkeessä. Tässä järjestelmässä hyvänä puolena oli, että jos se ei toimi, voidaan sylinteri poistaa ja käyttää poljinta manuaalisesti. Huonona puolena se, että kytkinpoljin liikkuisi koko ajan kytkimen mukana, mikä häiritsisi ajajaa.

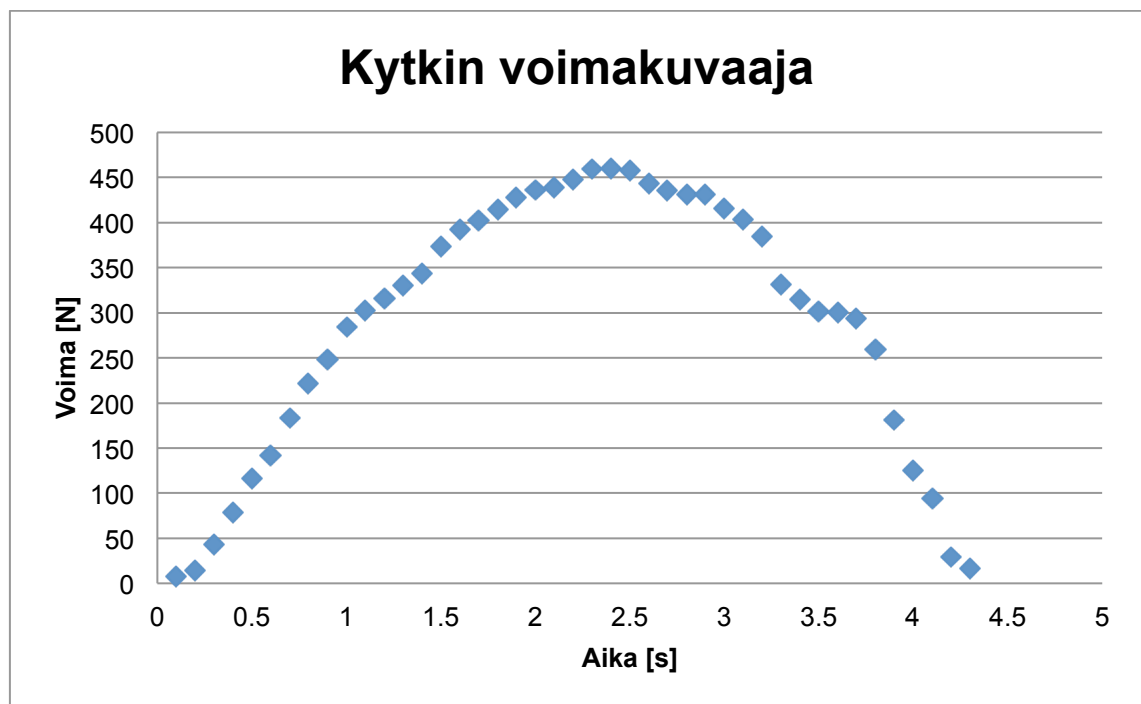
Järjestelmää kehitettiin poistamalla kytkinpoljin kokonaan ja laittamalla paineilmasyylinteri suoraan pääsylinteriin. Tämä vaihtoehto tarvitsi 4-kertaisesti enemmän voimaa, mikä kasvattaisi paineilmasyylinterin kokoa. Tämä järjestelmä voitaisiin sijoittaa minne tahansa autossa, jolloin paineilmasyylinterin suuruus ei olisi ongelma. Taloudellisesti sylinterin maksaisi enemmän, mutta tarvitsisi pienemmän paineen (bar) saadakseen tarvittavan voiman. Kaupunkiautossa olevaa paineilmakompressoria käytettiin jo jousiin ja vaihteistoon, joten sekin piti ottaa huomioon. Voiman piti olla tarpeeksi suuri, jotta pääsylinteri liikkuisi yhtä helposti kuin ihmisen jalka liikuttaa kytkinpoljinta.

Tämä vaihtoehto mahdollistaisi myös kytkinpolkimen jättämisen paikoilleen ja sen käytöstä tehtävän päätöksen myöhemmän ajankohdan. Järjestelmään voidaan nimittäin jättää molemmat vaihtoehdot. Molemmat järjestelmät piti kytkeä venttiiliin, jolla ohja-

taan sitä, kumpaa vaihtoehtoa halutaan käyttää. Kumpikin järjestelmä toimisi omanaan eikä niitä voisi käyttää samaan aikaan.

6.2 Kytkin testituloksia

Pääsylinterin voima testattiin voima-anturilla ja käyttäen Niklas Zubanin ohjelmaa, jossa käytetään hyväksi Twincatia ja Qt:tä. Twincat on saksalaisen ohjelmistotalo Beckhoffin logiikkaohjelma, jolla voidaan ohjelmoida erilaisia logiikkatoimilaitteita. Qt on avoin ja ilmainen ohjelmointi alusta. Qt:lla oli tehty ohjelma, joka keräsi voima-anturin tiedot. Testissä saatiin käyrä voimasuuruudelle. Matkaa ei saatu testituloksiin, Volkswagenin oman asema-anturin pääsylinteriin ollessa kadoksissa. Testitulosten saamiseksi vaihdelaatikko piti saada kiinnitettyä moottoriin, koska vain tällä tavalla saataisiin kytkimen oikea vastavoima. Moottorin ollessa muualla käytössä, oli testiaika hyvin rajoittunut. Asemalukema olisi ollut hyvä saada, mutta testien kiire aikataulu ei antanut siihen mahdollisuutta. Nyt asema-anturi on hankittu ja esimerkiksi työn jatkaja voi käyttää sitä testaamiseen jatkossa. Asema-anturi antaa pääsylinterin liikkeestä signaalia. Testissä simuloitiin kytkinpoljinta painamalla pääsylinteriä pohjaan. Testitulokset on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Kytkimen voimakuvaja

Kuvassa oleva kytkimen voimakuvaaja havainnollistaa voiman tarvetta kytkintä hallittaessa. Testitilanteessa pääsylinteriä painettiin manuaalisesti. Pääsylinterin ja manuaalivoiman välissä oli voima-anturi, joka mittasi voiman tarvetta työnnon aikana. Tällä testillä haluttiin saada maksimivoima pääsylinterin liikuttamiseen. Kuvaajassa nähdään maksimivoiman olevan yli 450 newtonia. Pääsylinteriä ohjaavan paineilmasylinterin täytyi ylittää tuo arvo, että pääsylinteri liikkuisi sen mukaan. Autossa olevasta paineilmakompressorista saatava paine oli 8–10 bar välillä. Sylinterin halkaisija tuli mitoittaa siten, että 8 bar tuottaisi tarvittavan voiman. Alla olevasta paineen kaavasta saadaan johdettua tarvittava halkaisija. Voimana käytettiin 500 newtonia.

Laskutoimitukset johdetaan paineen laskukaavasta. "p" on voima jaettuna pinta-alalla. Pinta-ala tarvitaan halkaisijan laskemiseksi. Alla olevista kaavoista saadaan lasketuksi halkaisija.

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{p} \Rightarrow \frac{500 \text{ N}}{800000 \text{ Pa}} = 0,000625 \text{ m}^2$$

$$A = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{A/\pi} = 0,00443 \approx 0,044 \text{ m}$$

$$2r = d \Rightarrow 0,063 \text{ m} \times 2 = 0,126 \text{ m}$$

Laskujen lopputuloksena 8 bar paineella sylinterin halkaisija täytyy olla 12,6 cm. Käytännössä halkaisijan täytyy olla kaksin- tai kolminkertainen minimimitaan verrattuna ettei siitä koidu ongelmia. On otettava huomioon, että paineet saattavat tippua hetkellisesti 8 bar.

Testisylinterinä käytettiin Feston 40 millimetrin halkaisijan paineilmasylinteriä (kuva 14), koska suurempaa sylinteriä ei löytynyt oppilaitoksesta. Testipaineena käytettiin 8 bar. Testissä paineilmasylinteri liikutti vaivattomasti pääsylinteriä, eikä kytkinpakan vastapaine tuottanut sille ongelmia. Testituloksena oli varsin outo, koska laskelmien mukaan painetta olisi pitänyt olla ainakin tuplamäärä. Laskelmat kuitenkin tehtiin monesti uudestaan eikä niistä löydetty virheitä. Tultiin siihen tulokseen, että alkuperäisen voiman mittaaminen oli epäonnistunut. Voiman mittausta testiä ei voitu enää uusia, koska moottori oli muualla. Sama ongelma kohtasi paineilmasylinterin simulointia kytkinpolkimena. Testi päästiin tekemään vain yhtenä päivänä, koska moottoria tarvittiin muualla. Kytkimen testaus ei ollut projektissa korkealla prioriteettilistassa kyseisenä ajankohtana, joten nämä testit jäivät työnjatkajalle.



Kuva 14. Paineilmasyylinteri simuloi kytkinpoljinta.

Paineilmasyylinteriä päätettiin ohjata kahdella proportionaaliventtiilillä. Toinen niistä ohjaa ilman sisään tuloa ja toinen ilman ulostulua. Proportionaaliventtiileitä ohjattiin potentiometrilte testitilanteessa.

Proportionaaliventtiilien nimi tulee karaa liikuttavasta proportionaalimagneetista, jonka antama voima on verrannollinen eli proportionaalinen magneetin ohjausvirtaan. Proportionaaliventtiilin toiminta on yksinkertaista. Paineilmaventtiilit ovat yleensä ON/OFF-toimisia, kun taas proportionaaliventtiiliä voidaan käyttää samalla tavalla kuin päälle/pois venttiiliä tai sillä voidaan säädellä askelmaisesti ilman läpikäskyä venttiilin säätöalueen koosta riippuen. Ohjaussignaalin arvo säätölee venttiiliin ulostulon suuruutta. Venttiiliä säädellään joko virralla, jännitteellä tai manuaalisesti. Työssä käytettiin kahta

virtasäästöistä ilmavirtaa säätelevää venttiiliä SMC PVQ31-5G-16-01F. Ilmavirta pääsee liikkumaan vain toiseen suuntaan venttiilissä.

Proportionaaliventtiilejä käytettiin paineilmasylinterin ohjaukseen. Toinen sääteli, miten nopeasti sylinterin mäntä liikkuu ulospäin, ja toinen sääteli männän takaisintulon nopeutta. Takaisintulon liikettä säädelleessä venttiilissä oli ulostulossa kiinni äänenvaimennin, jonka kautta ilma pääsi pois järjestelmästä. Tällä tavalla paineilma ei jää häiritsemään uuden paineilman tuloa järjestelmään. Kytkinpaketti vaihdelaatikossa antaa paineella vastavoimaa pääsylinteriin. Tällä vastavoimalla kytkinpoljin nousee ylös. Toinen proportionaaliventtiili säätelee tätä päästämällä ilmaa ulos tilanteen mukaan. Sylinterille ilmaan antavaa proportionaaliventtiiliä voisi kutsua jalaksi, joka painaa kytkintä. Proportionaaliventtiiliä, joka päästää ilmaa pois sylinteristä, kuvaa taas jalka, joka säätelee kytkimen nostamista.

7 Ohjausjärjestelmä

7.1 EPEC

Kaupunkiautoprojektissa käytetään sähkölaitteiden ohjausjärjestelmänä Epec Oy:n EPEC 2024 ohjainyksikköä. Epec Oy on suomalainen yritys, joka suunnittelee ja valmistaa ohjausjärjestelmiä erilaisiin tarkoituksiin. Epec on erikoistunut sulautettuihin koneenohjausjärjestelmiin, liikkuvien työkoneiden informaation logistiikkajärjestelmiin sekä näihin liittyviin tietojärjestelmiin ja toimistosovelluksiin. Ohjausjärjestelmät ovat suosittuja koneenrakentajien keskuudessa (8).

EPEC 2024 on yleinen monikäyttöinen ohjausjärjestelmäyksikkö. Siinä on sekä lähtöjä että tuloja, joita voidaan käyttää monenlaisissa rooleissa ohjausjärjestelmässä. Yhteensä lähtö-tulopinnejä on 52. Niihin sisältyy digitaalituloja ja -lähtöjä, analogituloja, pulssilähtöjä, proportionaalisia PWM-lähtöjä ja takaisinkytkentävirtasisäätötuloja. Hyvät kytkentämahdollisuudet mahdollistavat erilaisten laitteiden käytön EPEC 2024:sen kanssa. Laitteen kaksi erillistä CAN-liitäntää mahdollistavat helpot liitännät sekä muihin koneenohjausjärjestelmän osiin että esimerkiksi SAE J1939 -dieselmootoreihin ja -vaihteistoihin. CAN-liitännät mahdollistavat ohjausjärjestelmäyksikön käytön Kaupunkiautossa.

Vesi- ja pölytiiviys mahdollistaa ohjausyksikön asentamisen lähelle toimilaitteita, vaikka ne olisivat vaikeammassakin paikassa. Graafinen PLCopen ohjelmointi nopeuttaa järjestelmien käyttöönottoa ja tarjoaa kehittäjille standardoidun tutun työkaluympäristön. Ohjelmistoympäristönä käytetään Codesys-ohjelmaa. Codesys-ohjelmasta kerrotaan lisää luvussa 10.

Kytkimen proportionaaliventtiilejä ohjattaessa käytettiin EPECin omia kirjastoja. ”PVC_CurrentValvePairController”-nimisessä kirjastossa oli muuttujat valmiina kahden proportionaalisen virralla säädetyn venttiilin käyttöön. Kirjastojen kanssa oli työn alussa ongelmia, koska Epec oli päivittämässä niitä. Tämä hidastutti kytkimen ohjelmoinnin aloitusta monilla viikoilla.

8 Anturointi

Anturi on mittalaitteen osa, jonka reagointia ympäristön kanssa käytetään avuksi fyysikaalisten suureiden mittaamiseen tai kemiallisia yhdisteiden tunnistamiseen. Anturissa ei ole yleensä näyttöä vaan se lähettää tietonsa esimerkiksi mittarille tai ohjausjärjestelmälle. (9)

Anturointi on tärkeää järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa. Anturoinnin avulla saadaan tieto laitteiden toiminnasta. Tällä tiedolla voidaan esimerkiksi varmistaa, että laite toimii halutulla tavalla, sekä anturi voi ilmoittaa mahdollisista ongelmista. Toimiva anturointi on elintärkeä osa toimivaa automaatiojärjestelmää.

8.1 Vaihtoehto A: Anturit paineilmasylintereissä

Vaihteiston automatisoinnissa antureita tarvittiin sekä vaihdelaatikon vaihtajan, että kytkimen pääsylinterin asematietoihin. Ensimmäinen vaihtoehto vaihtajan anturoinnille toteutettiin kiinnittämällä asema-anturit paineilmasylintereihin. Asema-anturi kertoo, missä asemassa paineilmasylinterin mäntä on. Sylintereiden anturointiin tarvittiin seitsemän asema-anturia, koska toisessa sylinterissä on neljä asemaa ja toisessa kolme. Antureina käytettiin Feston SMT asema-antureita, joissa oli pieni alue siinä, millä välillä anturi lähettää signaalin. Anturit sopivat suoraan Feston sylintereihin ja tätä pidettiin hyvänä ratkaisuna, koska ajateltiin että ne integroituisivat hyvin. Anturit kytkettiin EPEC 2024-ohjausyksikön digitaalisiin tuloihin.

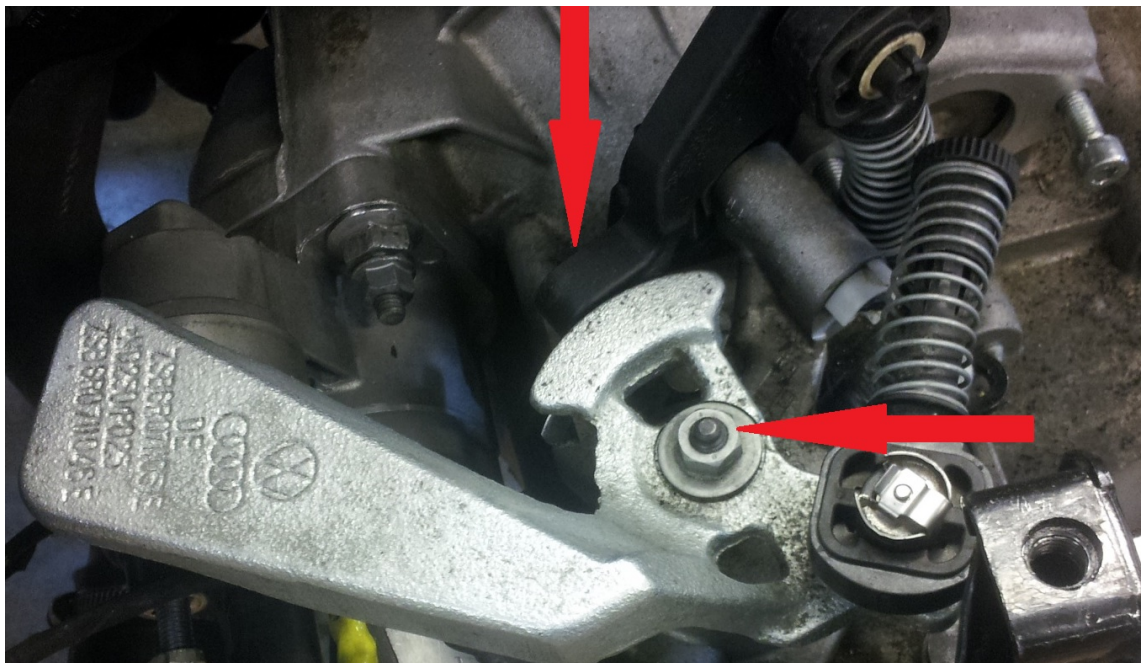
Paineilmasylinterin männässä on kiinni magneetti, jonka avulla SMT-asema-anturi pysyy välittämään tiedon ohjausyksikköön. SMT-anturit eivät olleet ideaalitapa toteuttaa anturointia järjestelmään, joten mietittiin myös toista anturi-järjestelmää. Toisena vaihtoehtona päädyttiin kokeilemaan hall-antureita, joiden tapauksessa anturit kiinnitettäisiin suoraan vaihtajaan. Tällöin voitaisiin varmistua, että valittu vaihde on varmasti valittuna.

8.2 Vaihtoehto B: Hall-anturi vaihtajassa

Hall-anturi mittaa magneettikentän suuruutta. Sen toiminta perustuu elektroneihin vaikuttavaan magneettiseen voimaan, joka aiheuttaa jännite-eron johtimen reunojen välille. Hall-anturin toiminta ei perustu induktioon, joten se pystyy havaitsemaan myös paikallaan pysyviä magneettikenttiä. Yleisesti käytetyissä antureissa on itse mittaosan lisäksi integroitu kytkentä, joka vahvistaa signaalia. Ulostulo voi olla joko analoginen signaali tai kytkintyyppinen. (10)

Tässä projektissa vaihtoehtoisena anturina käytettiin kytkintyyppistä Hall-anturia, jolla saataisiin tiedot, missä kohdassa ja mille vaihteelle vaihteisto on kytketty.

Kuvassa 15 näkyvät punaiset nuolet havainnollistavat kohtia mihin hall-anturit olisi tarkoitus kiinnittää. Tällöin saataisiin pysty- ja vaakaliike anturointi toteutettua tarkasti ja varmasti. Pystyliikkeen anturi on helppo kiinnittää, koska siinä liike on vain yhteen suuntaan. Vaakaliikkeessä anturi täytyy kiinnittää tavalla jolloin se liikkuu pystyliikkeessä, mutta ei huomioi sitä. Anturin signaalit perustuvat pyörimisliikkeen taltiointiin. Pysty- sekä vaakaliikkeen kiinnitys tehdään tavalla, jolloin liike on puoliympyränmuotoinen.



Kuva 15. Hall-antureiden kiinnityskohdat

9 Ohjelmointi ja ohjelmiston suunnittelu

9.1 CODESYS

CODESYS on erilaisten ohjauslaitteiden, kuten ohjelmoitavan logiikan ja sulautettujen järjestelmien ohjelmointiin tarkoitettu kansainvälisen IEC 61131-3-normin mukainen ohjelmointiympäristö. Ohjelmaympäristöön kuuluu kaikki viisi IEC 61131-3. CODESYSin on kehittänyt saksalainen ohjelmistoyritys 3S-Smart Software Solutions. CODESYS on lisenssivapaa ilmaisohjelma ja sen voi ladata yrityksen kotisivuilta. Ohjelmointiympäristö kattaa teollisuusautomaation eri lajit yhdessä ohjelmistossa (11).

9.2 IEC 61131-3

IEC 61131-3 on kansainvälisen avoimen standardin IEC 61131 kolmas osa. Sitä käytetään ohjelmoitaviin logiikoihin. Standardi julkaistiin joulukuussa 1993 IEC:n toimesta. Uusin versio julkaistiin 2013 helmikuussa. IEC 61131-3 jaetaan kolmeen graafiseen ja kahteen tekstipohjaiseen logiikka-ohjelmakieleen. (12)

Graafiset logiikka-ohjelmakielet:

- LD = Ladder logic eli tikapuu- tai relekaavio-ohjelmointi yhdistää virtapiirit virtuaalisesti
- FBD = Function block diagram eli toimintolohkokaavio visuaaliseen ohjelmointiin
- SFC = Sequential function chart eli vuokaavio-ohjelmointi askelmaiseen ohjelmointiin

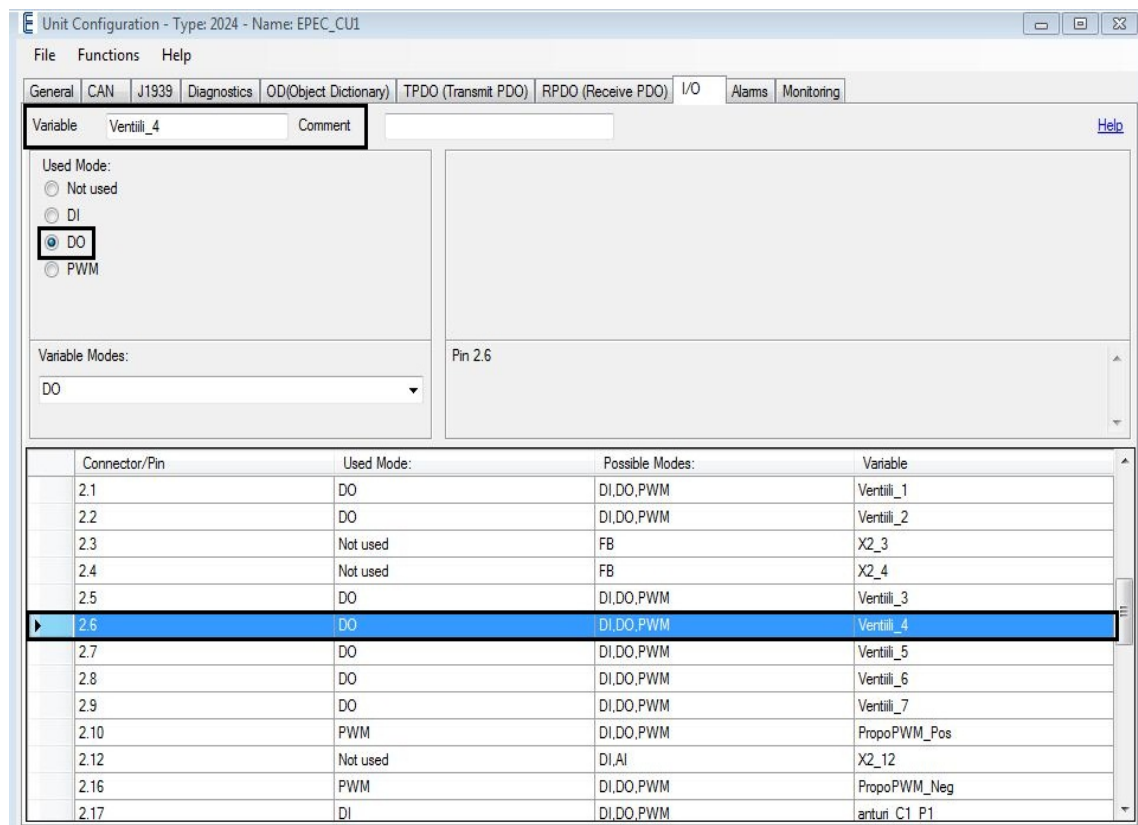
Tekstipohjaiset logiikka-ohjelmakielet:

- IL (Instruction list) eli käskylista, muistuttaa assembler-ohjelmointikieltä
- ST (Structured text) eli rakenteinen teksti, muistuttaa Pascal- ja C-kieltä.

9.3 EPEC MultiTool

EPEC MultiTool -työkalua käytetään ohjausjärjestelmän määrittelyssä ja luomisessa. MultiToolin avulla voidaan esimerkiksi määrittellä kunkin moduulin I/O, laitteiden väliset PDO:t, objektikirjastot sekä hälytykset. PDO:t ohjelmoidaan siten, että yhteen moduuliin määritetään TPDO:t ja tämän jälkeen valitaan toisella moduulilla listasta, mikä PDO halutaan ottaa vastaan. Työssä MultiToolia käytettiin määrittäessä ohjausjärjestelmän sisään- ja ulostulojen kanavia. MultiTool on todella helppokäyttöinen ja yksinkertainen ohjelma. Työssä käytettiin 3.0-versiota MultiToolista.

Kuvassa 16 nähdään kuvakaappaus MultiToolista ja I/O-välilehdestä, josta valitaan oikea pinni, minkälainen kytkentätyyppi ja päätetään muuttujan nimi. Kuvan korostetussa Venttiili_4-kohdassa on valittu EPEC 2024:n kakkosmoduuli ja signaalina digitaalinen ulostulo (muut vaihtoehdot digitaalinen sisääntulo tai PWM-signaali).



Kuva 16. MultiTool-ohjelma

9.4 Vaihdelaatikon koodi

Vaihdelaatikon vaihtajan ohjelmaan käytettiin toimintolohkokaaviota eli function block -diagrammia. Sitä käytettiin, koska ohjelma sisälsi vaihteet 1–5, pakin ja vapaan vaihteen. Jokaisella vaihteella on eri käsky, mutta perusperiaate on sama. Ohjelmaan tehtiin kuusi eri askelta, yksi jokaiselle vaihteelle.

Jokaisen vaihteen askelissa venttiilejä ohjataan FALSE/TRUE-käskyillä. Vaihde sisälsi X-suuntaisen askeleen ja Y-suuntaisen askeleen. X-suuntaisella liikkeellä oli venttiilit 1–3 eli kolmiasentoinen paineilmasyylinteri. Y-suuntaisella liikkeellä oli venttiilit 4–7 eli neliasentoinen paineilmasyylinteri. X-suuntaiseen askeleeseen lisättiin myös antureiden varmistussignaalit. Vaihtajan täytyi olla oikeassa kohdassa Y-suunnassa, jolloin anturit antoivat luvan X-suuntaiselle paineilmasyylinterin tehdä liikkeen. Kuvassa 17 nähdään esimerkki neljännen Y- ja X-suunta-askeleet.

Y-suuntaisen liikkeen venttiilit	
0001	DO_Venttiili_4 := TRUE;
0002	DO_Venttiili_5 := FALSE;
0003	DO_Venttiili_6 := FALSE;
0004	DO_Venttiili_7 := TRUE;

X-suuntaisen liikkeen venttiilit ja anturien varmistus, että vaihde on kytkettynä	
0001	DO_Venttiili_1 := TRUE;
0002	DO_Venttiili_2 := TRUE;
0003	DO_Venttiili_3 := FALSE;
0004	GEAR_CHECK(SYL1_POS1 := DI_anturi_C1_P1, SYL1_POS2 := DI_anturi_C1_P2,
0005	SYL1_POS3 := DI_anturi_C1_P3, SYL2_POS1 := DI_anturi_C2_P1,
0006	SYL2_POS2 := DI_anturi_C2_P2, SYL2_POS3 := DI_anturi_C2_P3, SYL2_POS4 := DI_anturi_C2_P4);
0007	GEAR_CURRENT := GEAR_CHECK.GEAR;

Kuva 17. Nelosvaihteen Y- ja X-suunta-askeleet

Ohjelman käynnistäessä vaihde menee aina vapaalle. Oikean vaihteen ollessa valittu ja kytkettynä venttiili päästää paineet pois paineilmasyylintereistä. Tämä vähentää vaihdelaatikon rasitusta ja tekee liikkeistä luonnollisen, kuten manuaalisesti autonohjaaja vaihtaisi vaihdetta ja päästäisi vaihdekepestä irti. Vaihde pysyy kytkettynä omalla voimallaan eikä sen takia sylintereissä tarvitse pitää painetta. Vaihdelaatikko löytää itse parhaan paikan vaihteelle. Paineilmasyylinterin pitää siirtää toivottavan vaihteen alueelle missä se on kytkettynä. Y-suuntaisen liikkeen täytyy olla tarkka, koska raja-alueet liikkuvat muutamissa milloissa. X-suuntaisen liikkeen ei täydy yhtä tarkka kuin Y-suuntaisen, koska sen kytkentäalue on suurempi ja vaihtaja hakee paikkansa itsenäisemmin. Taulukko 1 havainnollistaa, minkä venttiileiden täytyy olla auki, että oikea vaihde on päällä.

Taulukko 1. Kertoo mitkä venttiilit ovat päällä halutussa vaihteessa.

Vaihde	Venttiilinumero						
	1	2	3	4	5	6	7
1			x	x	x		x
2	x	x		x	x		x
3			x	x			x
4	x	x		x			x
5			x				x
R			x	x	x	x	
N	x		x				

9.5 Kytkimen koodi

Kytken ohjauksessa käytettiin kahta proportionaaliventtiiliä. EPECin kirjastoista löytyi kirjasto, jota käytetään virtaohjauksen proportionaaliventtiilien ohjaukseen. "PVC_CurrentValvePairController" -nimisestä kirjastosta löytyi pitkä lista output- ja input- muuttujia, jotka pitää määrittää oikeille arvoille. Input-muuttujat koostuvat pitkälti proportionaaliventtiilin ominaisuuksien listaamisesta – esimerkiksi ohjausvirran alueesta tai käyttöjännitteestä.

Alustavassa ja testiohjelmassa kytkintä ohjattiin potentiometrillä. Potentiometrin ollessa keskikohdassa molemmat venttiilit ovat kiinni. Potentiometrin arvoa muuttaessa tarpeeksi toinen venttiili aukeaa ja toinen pysyy kiinni. Molemmat venttiilit eivät ole ikinä samaan aikaan auki. Jos molemmat venttiilit olisivat auki, paineilma ei pääsisi paineilmasylinteriin, koska toinen venttiili ei päästäisi sisään tulevan paineilman pois järjestelmästä.

Kuvassa 18 on potentiometrin ohjauksen koodi sekä hieman PVC_CurrentValvePairController-kirjaston muuttujia jotka piti muuttaa sopivaksi työn proportionaaliventtiileille. Input-muuttuja on 16-bittinen jolloin siinä on 65536 paikkaa. Potentiometrille asetettiin 5000 paikan keskialue, jolloin molemmat venttiilit olivat kiinni.

```

0;
PropoBlock.i_Control := 0;
PropoBlock.i_Enable := TRUE;
PropoBlock();
CLUTCHCASE := 1;
1;
IF AI_Kytkin_Joystick > 30000 AND AI_Kytkin_Joystick < 35000 THEN
JOYSTICK := 0;
ELSE
JOYSTICK := WORD_TO_INT(Ai_Kytkin_Joystick)-32767;
END_IF
POS_CURRENT := AI_Current_Feedback_Pos / 10;      (*reed to divide input signal with 10 to get in to the range*)
NEG_CURRENT := AI_Current_Feedback_Neg / 10;
PropoBlock.i_Enable:=TRUE;
PropoBlock.i_Control:=JOYSTICK;                  (*Control signal from Joystick*)
PropoBlock.i_PosDirFeedbackCurrent:=POS_CURRENT; (*ADC current value from FB input or high side current measure*)
PropoBlock.i_NegDirFeedbackCurrent:=NEG_CURRENT; (*ADC current value from FB input or high side current measure*)
PropoBlock.i_FBType:=G_AiType.AInA;
PropoBlock.i_CommonCurrentMeasure:=FALSE;
PropoBlock.i_PosDirMaxCurrent:=165;              (*Max positive input current for proportional valve A, range 1..2500mA*)
PropoBlock.i_PosDirMinCurrent:=1;                (*Min positive input current for proportional valve A, range 1..2500mA*)
PropoBlock.i_NegDirMaxCurrent:=165;              (*Max negative input current for proportional valve B, range 1..2500mA*)
PropoBlock.i_NegDirMinCurrent:=1;                (*Min negative input current for proportional valve B, range 1..2500mA*)

```

Kuva 18. Kytken potentiometri ohjauksen muuttujalista.

10 Yhteenveto

Työn tavoite oli muuttaa Metropolia Ammattikorkeakoulun kaupunkiautoprojektissa olevan auton manuaalivaihteisto toimimaan automaattisesti. Prioriteettina oli auton vaihdelaatikko. Työssä piti tehdä mekaaninen toteutus sekä ohjelmoida ohjausjärjestelmä, joka lukee ja ohjaa vaihdelaatikkoa. Kytkimen automatisoinnin suunnitteluun jäi aikaa, koska aikataulullisista syistä vaihdelaatikon automatisoinnissa ei saatu kaikkia tarvittavia työkaluja, että päästäisiin eteenpäin.

Tämä työ antaa tarvittavat työkalut ja tarvittavat tiedot miten vaihteiston automatisointia voidaan jatkaa, kun moottorihjauksen aikataulu antaa siihen mahdollisuuden. Tällä hetkellä vaihteisto toimii kahdella napilla. Napeilla voidaan valita, mikä vaihde halutaan

Tämän hetkinen järjestelmä on kiinni autossa ja toimii, mutta täysautomaattiseksi vaihteistoksi on vielä matkaa. Siihen käytettävä ohjelma on melkein valmis. Seuraavaksi täytyy saada tietoja moottorin kierrosluvuista ja voimista eri nopeuksissa.

Kytkimen valinnassa ei päästy muutamia testejä pidemmälle, mutta tämän työn ehdotettu kytkin valinta antaa mahdollisuuden käyttää alkuperäistä kytkin poljinta, jos automaattikytkintä ei saada toimimaan halutulla tavalla. Kytkimessä on vielä paljon töitä tehtävänä, että siitä saadaan hyvin toimiva.

Lähteet

- 1 More Americans driving stick-shift. 2012. Verkkodokumentti. New York Daily News. <<http://www.nydailynews.com/autos/americans-driving-stick-shift-article-1.1072784>>. Luettu 30.5.2013.
- 2 Shifting Trends: Is the Manual Transmission Doomed? 2012. Verkkodokumentti. VerticalScope Inc. <<http://www.autoguide.com/auto-news/2012/11/shifting-trends-is-the-manual-transmission-doomed.html>>. Luettu 30.5.2013.
- 3 Ajoneuvotekniikka: Vaihteistot. 2012. Verkkodokumentti. Motiva Oy <http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/vaihteistot>. Luettu 30.5.2013.
- 4 Self-Study Programme 221: Electronic Manual Gearbox. 2012. Verkkodokumentti. Volkswagen AG. <http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_221.pdf>. Luettu 30.5.2013,
- 5 The 7-speed DSG. 2008. Verkkodokumentti. Volkswagen AG. <http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/themes/2008/01/the_7speed_dsg.html>. Luettu 30.5.2013.
- 6 Air Cylinder Selection Basics. 2011. Verkkodokumentti. Misumi Corp. <<http://www.misumi-techcentral.com/tt/en/lca/2011/01/068-air-cylinder-selection-basics.html>>. Luettu 30.5.2013.
- 7 Kiviaho, Erkka. 2012. Lineaarimootorit. Tutkielma. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- 8 Yrityksen tiedot. 2013. Verkkodokumentti. Epec Oy. <<http://www.epec.fi/f/yritys>>. Luettu 18.11.2013.
- 9 Honkanen Harri. 2010. Anturit. Verkkodokumentti. <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE_A%20N%20T%20U%20R%20I%20T.pdf>. Luettu 4.10.2013.
- 10 Understanding hall effect sensors. 1999. Verkkodokumentti. Wells Vehicle Electronics. <http://www.wellsve.com/sft503/Counterpoint3_1.pdf>. Luettu 4.10.2013.
- 11 The complete Software Suite for Automation Technology. 2013. Verkkodokumentti. 3S-Smart Software Solutions GmbH. <<http://www.codesys.com/the-system.html>>. Luettu 15.5.2013.

- 12 Introduction into IEC 61131-3 Programming Languages. 2013. Verkkodokumentti. PLCopen. <http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec_61131_3/> Luettu 20.8.2013.

Vaihdelaatikon function block-ohjelma

